

Milano: una visión futura para un UAS táctico

Vidal, Ivan ^{1,*}, Sanchez-Aguero, Victor ^{1,2}, Valera, Francisco ¹, Nogales, Borja ¹, Cabezas, Jaime ³, Vidal, Carlos ³, Lopez, Alicia ⁴, Gonzalez, Daniel ⁴, Diez, Jose ⁵, Berrazueta, Laura ⁵ y Merino, Manuel ⁵

¹ Universidad Carlos III de Madrid. Av. Universidad, 30, 28911 Leganés (España): ivaldal@it.uc3m.es (IV), fvalera@it.uc3m.es (FV), bdorado@pa.uc3m.es (BN).

² IMDEA Networks Institute. Avda. del Mar Mediterráneo, 22. 28918 Leganés (España): victor.sanchez@imdea.org (VS).

³ Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. Carretera de Ajalvir, Km 4, 28850 Torrejón de Ardoz (España): cabezasj@inta.es (JC), vidalbc@inta.es (CV).

⁴ Isdefe. C/ Beatriz de Bobadilla, 3. 28040 Madrid (España): lopezca.pers_externo@inta.es (AL), gonzalezrd.pers_externo@inta.es (DG).

⁵ BERTEN. C/ Lealtad 19, 3°C, 39002 Santander (España): jose.diez@bertendsp.com (JD), laura.berrazueta@bertendsp.com (LB), manuel.merino@bertendsp.com (MM).

Email:

* Autor Principal y responsable del trabajo; Correo electrónico: ivaldal@it.uc3m.es (IV).

Resumen: En este artículo se presenta el nuevo sistema de aeronaves no tripuladas Milano, del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Con una autonomía de vuelo de 20 horas, una carga útil de hasta 150 Kg, y un sistema de comunicaciones radio TCP/IP, el sistema desarrollado posibilita misiones de observación y vigilancia que van más allá de las ofrecidas por un sistema táctico tradicional. En el artículo se identifican las principales características del sistema Milano, en particular las relativas a su sistema de comunicaciones en línea de vista radioeléctrica basado en el protocolo IP. Asimismo, se describen las líneas actuales de trabajo consideradas para la evolución de este sistema: 1) mecanismos de vuelo cooperativo; 2) nuevas evoluciones del sistema de comunicaciones radio en línea de vista; 3) desarrollo de mecanismos para la distribución segura de la información de tele-medida de las aeronaves; y 4) estudio de nuevos enfoques disruptivos

para favorecer el despliegue flexible de servicios de telecomunicaciones sobre la plataforma de comunicaciones del Milano.

Palabras clave: UAS, vuelo cooperativo, TCP/IP, virtualización, redes de UAVs.

1. Introducción

En el contexto actual, Europa, y España en particular, afrontan grandes retos económicos y sociales. Estos retos requieren necesariamente el desarrollo y puesta en práctica de la nueva generación de tecnologías de la información y de las comunicaciones, dada su relevancia en los diferentes sectores y actividades que sustentan el desarrollo económico y el bienestar de la sociedad. En este contexto también es significativo el potencial de las tecnologías, servicios y productos de los sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS, *Unmanned Aircraft Systems*), no solo por la relevancia social de las aplicaciones de protección, seguridad y defensa que estos habilitan (p.ej. operaciones de búsqueda y rescate, gestión de situaciones de emergencia, operaciones de vigilancia, protección fronteriza, etc.); sino además, como habilitadores de nuevos formatos de infraestructuras digitales (p.ej. uso de sistemas aéreos como relés de comunicaciones, provisión de servicios de telefonía IP en zonas remotas, generación colaborativa de imágenes, actividades de soporte a la industria agraria, etc.).

En este contexto, este artículo describe los resultados obtenidos durante el desarrollo del sistema de aeronaves no tripuladas Milano, del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), cuyas primeras pruebas de campo han tenido lugar en 2018 en el Centro de Investigación Aeroportada de Rozas. Adicionalmente a los posibles usos como plataforma aérea de investigación, el sistema Milano puede efectuar misiones de vigilancia y de observación proporcionando imágenes en tiempo real en el espectro visible e infrarrojo de las áreas de interés sobrevoladas. El sistema es además suficientemente flexible para incorporar nuevos elementos de carga de pago en los vehículos aéreos (UAVs, *Unmanned Aerial Vehicles*). Así, mediante la integración de un radar de apertura sintética, el sistema podría realizar las misiones de vigilancia y observación todo tiempo y por encima del techo de nubes.

Habiendo concluido ya una primera fase de desarrollo del sistema, entre los objetivos del Milano se considera ahora la exploración de nuevas líneas de I+D+i, para convertir este UAS en un sistema estratégico de referencia en el panorama internacional. Por un lado, se pretende dotar al sistema de capacidades de decisión autónoma, con algoritmos robustos de detección y generación de trayectorias óptimas en vuelos cooperativos. Se consideran también nuevas evoluciones del sistema de comunicaciones radio basado en el protocolo IP, para mejorar las prestaciones ofrecidas en términos de eficiencia y seguridad. Por otro lado, la plataforma hardware de comunicaciones del Milano ofrece soporte de virtualización. Esto abre un nuevo abanico de posibilidades para habilitar el despliegue automatizado de funciones en el UAS (p.ej. servicios de telefonía IP, *push-to-talk*, instalación bajo demanda de algoritmos de vuelo cooperativo, generación y distribución de alarmas, etc.). De esta manera, sería posible disponer de una infraestructura digital aérea fácil y rápidamente adaptable a misiones con diversos objetivos.

El resto de este artículo se estructura del siguiente modo. En la sección 2 se describen las características técnicas del sistema Milano, incluyendo aquellas relativas a su sistema de comunicaciones radio en línea de vista radioeléctrica y al sistema de comunicaciones TCP/IP. En la sección 3 se presentan las líneas de trabajo que se han considerado, y que actualmente están en desarrollo para la evolución del Milano. Finalmente, la sección 4 concluye este artículo.

2. El sistema Milano

2.1 Características técnicas del sistema

El Milano es un sistema aéreo táctico no tripulado de gran autonomía, que opera a altitudes medias, y que ha sido diseñado para realizar misiones de reconocimiento, vigilancia y adquisición de blancos. Los UAVs tienen un techo operativo de 28000 pies sobre el nivel del mar, una autonomía de hasta a 20 horas de vuelo, y un rango de velocidades de operación desde 65 nudos hasta 120 nudos. Los vehículos aéreos y la carga útil integrada (inicialmente sensores electroópticos en el espectro visible e infrarrojo), son controlados y monitorizados en tiempo real desde una estación de control en tierra (GCS, *Ground Control Station*).

Las comunicaciones ascendentes (típicamente denominadas tele-comando) y descendentes (comúnmente, tele-medida de datos e imágenes) entre la estación de control y los vehículos aéreos, pueden efectuarse tanto por enlace en línea de vista radioeléctrica, empleando un sistema con protocolo IP, como por un enlace vía satélite, para misiones fuera de la línea de vista radioeléctrica. La geometría del Milano produce una firma radar muy reducida, lo que disminuye la posibilidad de ser detectado durante las misiones. La capacidad de la aeronave con respecto al peso y volumen transportables, la potencia eléctrica disponible, así como el avanzado sistema de comunicaciones utilizado, permiten la integración de una amplia gama de cargas de pago electroópticas y radares de apertura sintética.

Los objetivos perseguidos con el desarrollo del sistema Milano han sido: 1) obtener un sistema de reconocimiento, vigilancia y adquisición de blancos en tiempo real para realizar misiones de Estado, empleando vehículos aéreos MALE (*médium altitude long endurance*) a un coste reducido; 2) desarrollar nuevas funcionalidades y tecnologías aplicables a los sistemas aéreos no tripulados (inteligencia artificial, integración en el espacio aéreo no segregado, o sistemas de comunicaciones en red empleando protocolos de Internet); y 3) poner a disposición de la industria un sistema aéreo no tripulado como plataforma aérea de investigación, o demostrador de otros usos operativos.

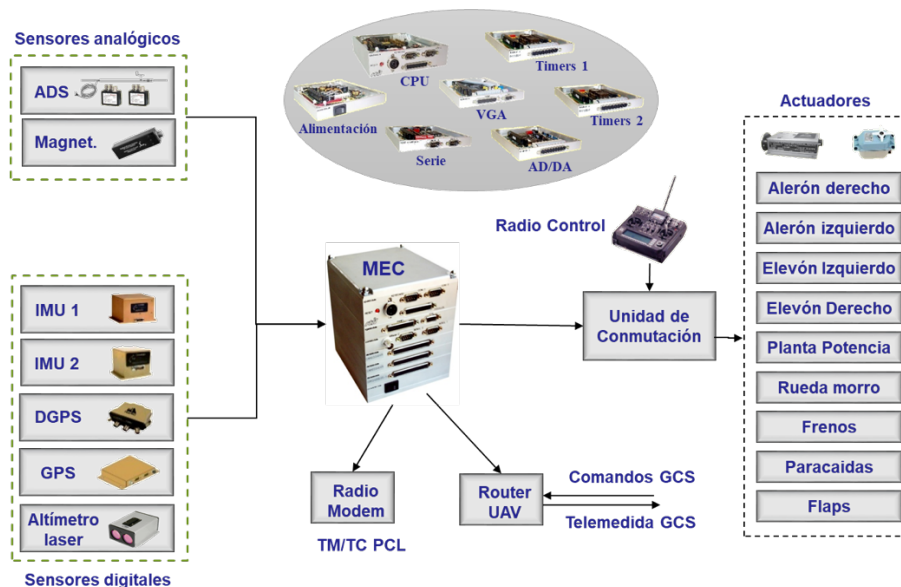


Figura 1: Arquitectura del sistema de comunicaciones Milano

El sistema de navegación, guiado y control del Milano consta de componentes hardware y módulos de software que permite que la aeronave pueda realizar el vuelo con las funcionalidades requeridas. El diagrama de bloques de este sistema está representado en la Figura 1. Este incluye un ordenador de

control de vuelo denominado MEC (Modulo de Estimación y Control), de los sensores de determinación de estado del avión y de los actuadores de control. Existe adicionalmente un enlace bidireccional redundante entre el sistema de control de vuelo y un puesto dedicado en la GCS. Mediante este enlace de alcance limitado, basado en un *radio modem*, pueden enviarse al avión todos los comandos de control. Asimismo, el operador recibe una tele-medida reducida con los parámetros de monitorización del vuelo.

En los siguientes apartados se describen, en mayor detalle, los dos sistemas principales que permiten proveer las comunicaciones radio basadas en el protocolo IP del Milano: el sistema de comunicaciones radio en línea de vista radioeléctrica y el sistema de comunicaciones TCP/IP. Este último posibilita además la conmutación automática de las comunicaciones a enlace satélite, en caso de ausencia de cobertura del enlace por línea de vista (por ejemplo, en misiones a larga distancia).

2.2 Sistema de comunicaciones radio

El sistema de comunicaciones radio está basado en los transceptores S-6000 de la empresa española BERTEN que, en colaboración con el INTA, ha desarrollado equipos IP de altas prestaciones con algoritmos innovadores que aseguran enlaces estables en situaciones de alta dinámica (>2000 Km/h, $>10g$). Los transceptores permiten configurar cualquier frecuencia entre 70 MHz y 6 GHz con anchos de banda de hasta 80 Mbps por canal. Diseñado para operar en condiciones ambientales de grado militar, el sistema implementa características avanzadas tales como relé regenerativo, funciones de red, interfaces configurables, encriptación AES, y monitorización y control por comandos IP.

Como se observa en la Figura 2, el sistema de radio S-6000 incluye tanto unidades embarcadas, IP-67 de reducido tamaño, como una unidad de tierra enracable con pantalla táctil LCD, alimentación AC, e interfaces adicionales. La Figura 3 muestra la integración del sistema en los UAS y estación de control (GCS) del INTA.



Figura 2: Sistema de comunicaciones radio S-6000000.



Figura 3: Integración en los UAS y GCS del INTA

El sistema de comunicaciones TCP/IP de Milano es una evolución del sistema diseñado inicialmente para el SIVA como parte del proyecto DRONE¹ financiado parcialmente por el programa COINCIDENTE durante los años 2011 a 2013. Dicho sistema original se ha detallado en [1] y [2], y sus principales características, así como las diferentes evoluciones y adaptaciones para Milano, se describen en las siguientes líneas.

El núcleo del sistema está compuesto por un sistema compacto embarcado que hace las veces de router hacia el sistema terrestre (está conectado directamente con los dispositivos que transmiten la señal hacia el exterior de la aeronave, ya sea el sistema de comunicación en línea de vista descrito en el apartado 2.2 o con el sistema de transmisión vía satélite) y de switch para el resto de sistemas finales embarcados con interfaz de red (módulo de adquisición de datos o cámara de video, por ejemplo). Además, el sistema cuenta con un router ubicado en la estación de tierra que recibe los flujos de información de los dispositivos de línea de vista y satélite correspondientes y al que se interconectan los diferentes puestos de control.

Por último, es importante destacar que además de los posibles esquemas de seguridad que se puedan proporcionar por el sistema de transmisión descrito en el apartado 2.2, las comunicaciones de red están protegidas utilizando IPSec [3] (ya lo estaban en el sistema original). Sin embargo, para Milano se incorporará un nuevo mecanismo que proporcionará seguridad centrada en el contenido, SCoT (véase apartado 3.3), que cubrirá las comunicaciones de video y tele-medida actuales y permitirá incorporar la aeronave en un entorno multidispositivo de forma que pueda autenticarse siempre el origen real (generador) de los datos.

Para el sistema Milano se ha sustituido recientemente el router embarcado por un sistema de mayor potencia con soporte para tecnologías de virtualización. Pese a que las medidas efectuadas en cada misión del SIVA en el router embarcado en dicha aeronave revelan que el sistema fue convenientemente diseñado y todos los parámetros monitorizados están ampliamente dentro del rango de valores esperado (carga de CPU, utilización de memoria del dispositivo, utilización de interfaces de red, etc.), para el sistema Milano se ha considerado necesaria la introducción de un sistema con mejores prestaciones para dar cabida a las siguientes posibles evoluciones del sistema: 1) soporte para el nuevo sistema de autenticación de fuente basado en SCoT; 2) soporte para una posible conexión directa de la cámara de video de la aeronave, que actualmente envía el vídeo sin comprimir a un dispositivo de adquisición de datos que se encarga de la codificación y distribución; 3) desarrollo de un sistema de gestión de red integral que permitirá la monitorización completa de los parámetros de red de cada dispositivo UAV; y 4) soporte para tecnologías de virtualización que permitan flexibilizar la instalación y actualización de los servicios ofrecidos por el UAS (véase apartado 3.4).

3. Evolución del sistema

3.1 Vuelo cooperativo

El sistema Milano puede operar en forma de red de comunicaciones, constituida por un conjunto de aeronaves no tripuladas y de estaciones de control en tierra. Esta característica tiene efectos multiplicadores tanto en la extensión del área cubierta, como en la duración de la operación efectuada.

¹ Diseño de red de comunicaciones para UAV de nueva generación. Programa COINCIDENTE (DN8644-COINCIDENTE-10032110042).

Sin embargo, la complejidad en la planificación, supervisión y ejecución de las misiones por parte de los operadores, crece exponencialmente al aumentar el número de aeronaves, estaciones de control y objetivos establecidos en la misión. Para operar eficientemente un sistema de UAS en red resulta imprescindible incorporar funciones de inteligencia artificial. Existen varias definiciones del concepto de inteligencia artificial tomando como referencia bien el comportamiento humano, o bien la racionalidad basada en la medida de unas actuaciones o comportamientos ideales. Este último enfoque es el que define con más exactitud las funciones previstas.

En nuestro contexto bajo estudio, el operador definirá las características de la misión (esto es, tipo de misión, objetivos perseguidos, delimitación de zona de la misión y número y clase de los aviones no tripulados a desarrollar). Atendiendo a los criterios definidos, cada aeronave planificará su trayectoria de forma cooperativa para que de manera óptima se alcancen los objetivos de la misión definida. Esta optimización estará basada en algoritmos concretos para cada tipo de misión en los que se emplean mapas de conocimiento compartidos entre las aeronaves y estaciones de control y que son específicos para cada tipo de misión. Las trayectorias óptimas generadas, consideran las restricciones que garantizan la conectividad de la red y la separación mínima entre aeronaves para evitar colisiones. Los aviones actualizan esas trayectorias según evolucionen los mapas de conocimiento compartido o la posición del resto de las aeronaves durante la misión.

Durante el desarrollo de la misión el operador recibirá una información reducida de cada uno de los UAV que componen la red y una detallada de un UAV seleccionado. Esta selección podrá cambiarse según progrese la misión. Cuando sea requerido, el operador podrá comandar a la aeronave seleccionada en cualquiera de los modos automáticos y semiautomáticos, interrumpiendo el modo autónomo. El novedoso sistema de comunicaciones desarrollado para Milano, facilita la capacidad de monitorización, el comando selectivo, generación de mapas de conocimiento compartido según cada tipo de misión y posición de cada aeronave.

3.2 Sistema de comunicaciones radio

El sistema de comunicaciones radio S-6000 está en continuo desarrollo para incorporar mejoras que permitirán implementar funcionalidades avanzadas, más allá del estado del arte, para el UAS táctico Milano. Estas evoluciones incluyen: 1) comunicaciones a larga distancia entre los elementos de una red de vehículos aéreos, mediante técnicas innovadoras de acceso al medio; 2) integración de la interfaz IP con datos serie (RS232/422, UART, SBUS) para conexión directa de sensores y otros elementos embarcados al sistema de comunicaciones; 3) algoritmos de diversidad espacial y temporal para mejorar la cobertura y la robustez contra desvanecimientos frecuenciales; 4) técnicas avanzadas de LPI/LPD (*low probability of intercept/detection*) para aumentar la seguridad en operaciones tácticas; 5) desarrollo de una interfaz gráfica para comando y control del sistema de comunicaciones; y 6) terminal de video remoto (RVT, *Remote Video Terminal*) para recibir datos y tele-medida en unidades portátiles.

3.3 Seguridad mejorada centrada en contenido

En un escenario de despliegue, es posible que la información de los UAVs que se recibe en la GCS, o en un conjunto de RVTs, deba ser retransmitida a otras entidades autorizadas para su procesamiento. En el contexto del Milano, que incluye recursos de alto coste y criticidad, una solución viable que permitiría entregar la información a las entidades autorizadas que participen en una misión consistiría en proveer una aplicación en la estación de tierra, o en las unidades RVT que, previa verificación de

los permisos pertinentes por parte de los usuarios solicitantes, retransmitiese la información de tele-medida recibida del UAV.

Sin embargo, esta solución presenta el inconveniente de que, por el hecho de retransmitir la información desde la GCS, la entidad receptora de dicha información no dispone de una garantía real sobre su procedencia. Teniendo esto en cuenta, el objetivo de esta línea de trabajo consiste en desarrollar una solución que permita proteger la entrega de la información de tele-medida ofrecida por un UAV, con independencia de las entidades intermediarias que se utilicen para su distribución. A este respecto, se partirá de un desarrollo previo del equipo de trabajo del programa Milano [5]. En este desarrollo se ha definido un protocolo de nivel transporte, SCoT (de sus siglas en inglés *Secure Content Oriented Transport*). Este protocolo se basa en un modelo de la seguridad centrada en el contenido [4], y permite soportar la diseminación segura de información en Internet, con particular aplicación en entornos de Redes de Distribución de Contenidos (CDNs, *Content Delivery Networks*). En esta actividad, se partirá del desarrollo realizado en el trabajo anterior, al objeto de definir una solución de funcionalidad similar, aunque adaptada al caso particular de los despliegues de UAS.

3.4 Virtualización de funciones y servicios

Finalmente, y atendiendo a un enfoque innovador, sería deseable que los UAS del futuro pudiesen estar conformados por múltiples UAVs de diferentes tamaños y capacidades, fácilmente adaptables a diferentes misiones y situaciones, no solo en términos de carga de pago y de equipamiento hardware, sino también en términos de software y de servicios, que deberían poder ser integrados de manera ágil y flexible en el UAS según sea conveniente. A modo de ejemplo, se podría actualizar el software de un UAV táctico para soportar diferentes algoritmos para el control de vuelo autónomo. O podría usarse una red de UAVs de menor tamaño para desplegar de manera ágil una infraestructura de telefonía IP para soportar comunicaciones de emergencia en una zona geográfica delimitada, en la que no existe una infraestructura de red de comunicaciones (por ejemplo, en un área remota), o bien esta no se encuentra disponible (como puede ser a causa de un desastre natural).

En esta línea de trabajo se pretende evolucionar el sistema Milano para ofrecer una plataforma flexible, adaptable a misiones y situaciones con diferentes objetivos. En esta plataforma, se considera la interoperación entre múltiples UAVs, que podrían interconectarse en vuelo para ofrecer diferentes servicios (ej. servicios de telefonía IP, *push-to-talk*, acceso a Internet, generación de alarmas, operaciones de búsqueda y rescate cooperativas, etc.). En esta visión futura para el sistema Milano, los UAVs proveerían una infraestructura configurable que posibilitaría la integración ágil de servicios y de funciones, pudiendo ser estos determinados por el operador del UAS durante su despliegue.

La realización de esta visión presenta, no obstante, un reto de gran envergadura, requiriendo cambios sustanciales en la arquitectura hardware y software de este tipo de sistemas UAS, al efecto de convertir los UAVs en plataformas realmente programables sobre las que ejecutar funciones y servicios. Por este motivo, como parte de esta actividad, estudiaremos la aplicabilidad de tecnologías y estándares reconocidos, que posibiliten realizar la visión expuesta reduciendo la complejidad del reto que dicha visión presenta. En particular, se explorará el potencial de la virtualización de funciones de red (NFV, *Network Functions Virtualization*) como tecnología incipiente sujeta a estandarización [7] que permite soportar el paradigma de la “softwarización” de funciones.

En este contexto, en esta línea de trabajo exploraremos la aplicación de tecnologías de virtualización y de estándares de NFV para posibilitar el despliegue flexible, y efectivo en coste, de

aplicaciones y servicios adaptables basados en UAS. Para ello, se utilizará el equipamiento hardware y software de propósito general actualmente disponible en el sistema Milano, basado en la arquitectura PC/104, que ya ofrece soporte de virtualización, y estudiaremos la integración en dicho sistema de aeronaves programables no tripuladas de tamaño reducido. Actualmente, hemos dado ya los primeros pasos en el desarrollo de esta actividad. En particular, en [8] hemos propuesto una versión preliminar del diseño de un sistema que, mediante el empleo de tecnologías NFV, posibilita el despliegue ágil y flexible de servicios y de funciones sobre plataformas de UAVs de tamaño reducido. Nuestro trabajo futuro en esta actividad incluye la evolución de este diseño y su integración en el sistema Milano, al efecto de soportar el despliegue de servicios sobre redes conformadas por este tipo de UAV.

4. Conclusiones

En este artículo se ha descrito el sistema de aeronaves no tripuladas Milano, del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Mediante un sistema de comunicaciones radio innovador, en cuyo desarrollo han participado la empresa española BERTEN y la Universidad Carlos III de Madrid, el sistema Milano ofrece no sólo una plataforma aérea de investigación, sino además un sistema robusto para efectuar misiones de observación y de vigilancia a larga distancia y en tiempo real. Las nuevas líneas de trabajo que se plantean bajo el programa Milano permitirán posicionar a este UAS en primera línea en el ámbito de la I+D+i del panorama internacional, con el soporte de múltiples unidades UAV en vuelo cooperativo, el desarrollo de nuevos mecanismos seguros para la comunicación en línea de vista a larga distancia, y el despliegue ágil y flexible de nuevos servicios de telecomunicaciones.

Agradecimientos

El trabajo realizado por Víctor Sánchez y Borja Nogales ha sido parcialmente financiado por la Unión Europea, mediante el proyecto del H2020 5GinFIRE (*grant agreement* 732497), y por el Ministerio de Economía y Competitividad, a través del proyecto 5GCITY (TEC2016-76795- C6-3-R).

Referencias

1. Valera F et al. Diseño de red de comunicaciones para UAVs de nueva generación Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad, DESEi+d 2013. Noviembre 2013.
2. Vidal I, Valera F, Díaz Bautista M.A., Bagnulo M. Design and practical deployment of a network centric remotely piloted aircraft system. IEEE Communications Magazine. (ISSN: 01636804), vol. 52, no. 10. October 2014.
3. Kent S, Seo K. Security Architecture for the Internet Protocol, Internet Engineering Task Force (IETF), Proposed standard, RFC 4301, Diciembre 2005.
4. Jacobson V. Networking named content. In Proceedings of the 5th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies, 1– 12, New York, NY, USA, 2009.
5. Vidal I, et al. SCoT: A Secure Content-oriented Transport Journal of Network and Computer Applications. Journal of Network and Computer Applications. Elsevier. Marzo 2018
6. Vidal I et al. Plataforma de Comunicaciones Multi-UAV Multi-Servicio para Aplicaciones de Protección, Seguridad y Defensa. Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad, DESEi+d 2015. Noviembre 2015.
7. NFV White Paper. Network functions virtualisation: An introduction, benefits, enablers, challenges & call for action. issue 1. Octubre 2012.
8. Nogales B et al. 2018. A NFV system to support configurable and automated multi-UAV service deployments. In Proceedings of the 4th ACM Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications (DroNet'18). ACM, New York, NY, USA, 39-44.